

Совершенствование принципа действия технической системы

А.Г.Кашкаров

Ключевые слова: принцип действия, прогноз, модель, потоки, причинно-следственная структура, вещественно-энергетические преобразования.

Введение

Предлагаемая работа направлена на развитие ТРИЗ [1] и является логическим продолжением исследований автора [6,7] по алгоритмизации моделирования, анализа и совершенствования Технических Систем (ТС). В статье показаны приемы совершенствования ТС (с целью повышения эффективности функционирования) и актуального изменения ее принципа действия.

Совершенствование ТС, имеющей определенное назначение, может осуществляться либо в рамках существующего принципа действия ТС, либо при его изменении. В развитии практически любой ТС могут быть выявлены совершенствования, затрагивающие ее принцип действия. Изменение принципа действия ТС может носить локальный характер и быть незначительным (при этом работа усовершенствованной ТС мало отличается от исходной) или затрагивать существенную часть ТС вплоть до кардинальной смены физических законов и эффектов, на которых базируется работоспособность ТС.

Любой ТС может быть поставлен в соответствие ряд критериев (называемых еще Main Parameter of Value [2]), которые характеризуют ТС в целом и определяют ее потребительские качества. Улучшение этих качеств ТС является целями ее совершенствования. В частности, совершенствование ТС может быть направлено на:

- снижение затрат на производство (снижение стоимости),
- повышение эффективности (уровня реализации назначений),
- увеличение числа назначений,
- снижение затрат и негативных проявлений при ее функционировании,
- повышение эргономических параметров ТС и удобства пользования.

Прогноз развития ТС подразумевает приближение значимых или выбранных потребительских качеств ТС к физическому пределу. Каждое потребительское качество имеет разумный предел совершенствования, который всегда ниже физического, поэтому для того, чтобы улучшить конкретное потребительское качество ТС до разумного предела, необходимо выявить сдерживающие факторы (внутренние и внешние по отношению к ТС) и поставить задачи на их устранение. Задачи совершенствования ТС могут быть сформулированы как необходимость наделения ТС (или ее компонентов) новыми или улучшенными свойствами, однако более продвинутыми являются задачи, сформулированные в виде противоречия. Выявление ключевых задач, решение которых дает наибольший эффект, может быть осуществлено при проведении причинно-следственного анализа недостатков ТС, однако поиск противоречий является более трудоемким и требует искусства. Существует алгоритмизированная методика локализации противоречий [6] на основе анализа модели вещественно-энергетических преобразований, демонстрирующей принципы действия ТС, которая позволяет упростить эту процедуру.

Понятие "Принцип действия"

Понятие "Принцип действия" активно используется в обиходе, однако в практике ТРИЗ этому уделено мало внимания. Согласно энциклопедическим словарям "Принцип действия" - это основа действия какого-либо прибора, машины и т.п. В настоящее время существуют разные мнения, что такое принцип действия ТС и как его описать. Обычно при описании принципа действия какого-либо устройства приводится упрощенный взаимосвязанный ряд изменений его объектов. Например, принцип действия двигателя Стирлинга заключается в следующем. Имеем замкнутый объем газа в жестком корпусе с эластичной мембраной (поршнем). Нагревая корпус, газ внутри расширится и совершит работу, выгибая мембрану наружу. И наоборот, охлаждая корпус, мембрана вогнется, опять совершив работу.

Для сложных устройств подробно описать принцип действия крайне трудно, поэтому используют визуальные модели ТС, например, в электрони-

ке - принципиальные схемы, временные диаграммы, карты режимов и т.д. Чтение этих моделей позволяет уяснить: как работает устройство и помогает выявить неисправности при отказе, однако такие модели не позволяют провести анализ присущих ТС недостатков и поставить задачи совершенствования.

Известна формулировка, используемая в работах [3-5] по синтезу новых ТС: "Принцип действия ТС - это совокупность физических, химических и т.п. эффектов, согласованное применение которых обеспечивает выполнение ее функции". Такое определение не совсем корректно, поскольку работоспособность любой ТС обеспечивается преимущественно физическими законами, а не только физическими (химическими и т.п.) эффектами. Само понятие "физический эффект" - неоднозначно, поэтому и описание принципа действия может трактоваться по-разному. Необходима строгая формулировка принципа действия, адаптированная к задачам ТРИЗ, чтобы аналитические инструменты позволяли однозначно описать принцип действия ТС и производить операции над ним.

В физике Принцип Действия¹ является утверждением о природе движения, из которого может быть определена траектория объекта, на который действуют внешние силы, при этом действие² - это скаляр, численно равный произведению "энергии" на "время", а принцип - определяет основания и правила изменения действий. Таким образом принцип действия ТС заключен в структуре и организации энергетических воздействий и их преобразований, изменяющихся в пространстве и во времени. Вследствие энергетических воздействий изменяются свойства и параметры вещественных объектов в ТС, а сами объекты являются трансляторами и преобразователями энергии. На основании этого можно сформулировать: ***Принцип действия ТС - это совокупность (структура и организация) вещественно-энергетических преобразований ТС, реализующих ее назначение.***

¹ <http://wiki-linki.ru/Page/157382>

² http://slovari.299.ru/enc.php?find_word=%E4%E5%E9%F1%F2%E2%E8%E5&slovar=2

Модель принципов действия ТС демонстрирует взаимосвязь в пространстве и во времени только полезных преобразований сил, полей, потоков энергии и веществ, приводящих к желаемым изменениям объекта действия ТС. Предложенное определение Принципа Действия не только уточняет известные определения, но и делает его более инструментальным.

Принцип действия может быть выражен в виде причинно-следственной последовательности основных преобразовательных элементарных эффектов или ряда последовательностей (дерева графов), часть из которых определяют условия протекания узловых физических эффектов, разделенных в пространстве и во времени.

Зачастую путают понятия: принципы действия ТС, основа принципа действия ТС и особенность принципа действия ТС. Термины основа и особенность принципа действия призваны только обобщенно охарактеризовать ТС, в частности:

Основа принципа действия ТС - физический эффект, цепочка физических эффектов или вещественно-энергетических преобразований, определяющие наиболее важные изменения в ТС в процессе функционирования.

Особенность принципа действия ТС - физический эффект, вещественно-энергетическое преобразование или конструктивная особенность для его реализации, являющиеся отличительными признаками ТС среди аналогов.

Выявление принципа действия

Чтобы совершенствовать принцип действия конкретной ТС необходимо предварительно его выявить. Для этого достаточно построить модель Вещественно-Энергетических Преобразований (ВЭП) ТС [6,7] и выделить на ней преобразования способствующие реализации назначения. При построении такой модели каждый компонент ТС рассматривается как конкретная система преобразований сил, полей, потоков энергии и веществ на основе физических законов, эффектов и сопутствующих явлений. Основой для построения

модели вещественно-энергетических преобразований может являться функциональная модель либо ее интерпретация на разных режимах работы.

На модели сначала формируется структура ТС - компоненты с их связями, затем для каждой связи выявляются воздействия, выраженные в виде сил, полей, потоков энергии и веществ. Далее раскрывается сущность процессов, происходящих в каждом компоненте при разных режимах работы ТС - зависимые преобразования входных воздействий в выходные. Эти процессы интерпретируются в их модели на основе понятий: Аккумуляция, Суперпозиция и Модификация или Мутация. При этом процессы: физические законы и эффекты, реализуемые в компоненте при функционировании ТС, преобразования и взаимные влияния полей, сил, потоков энергии, вещества, а также информации могут быть наглядно представлены с помощью малого числа связанных стандартных пиктограмм (Рисунок 2).

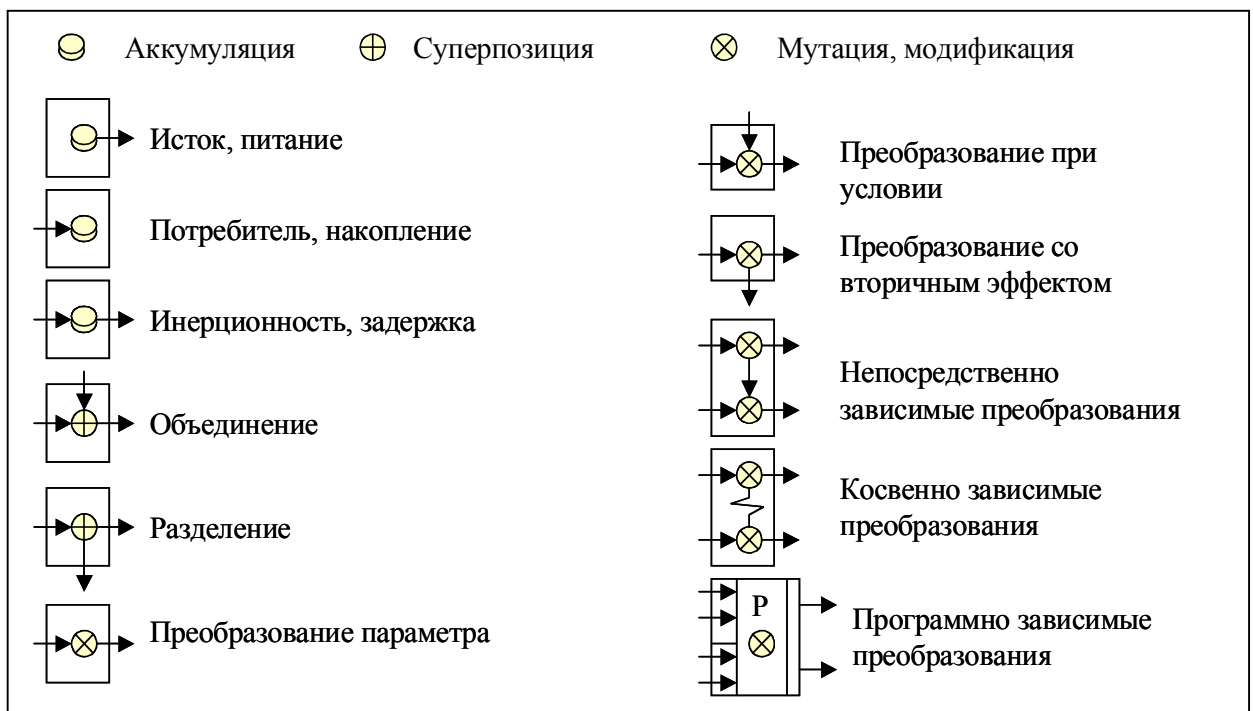


Рисунок 2. Представление процессов, происходящих в компонентах.

Упрощенно, на верхнем уровне иерархии процессы, происходящие в компонентах любой ТС (для каждого ее назначения), могут быть представлены моделями, приведенными на Рисунке 3 а) и б).

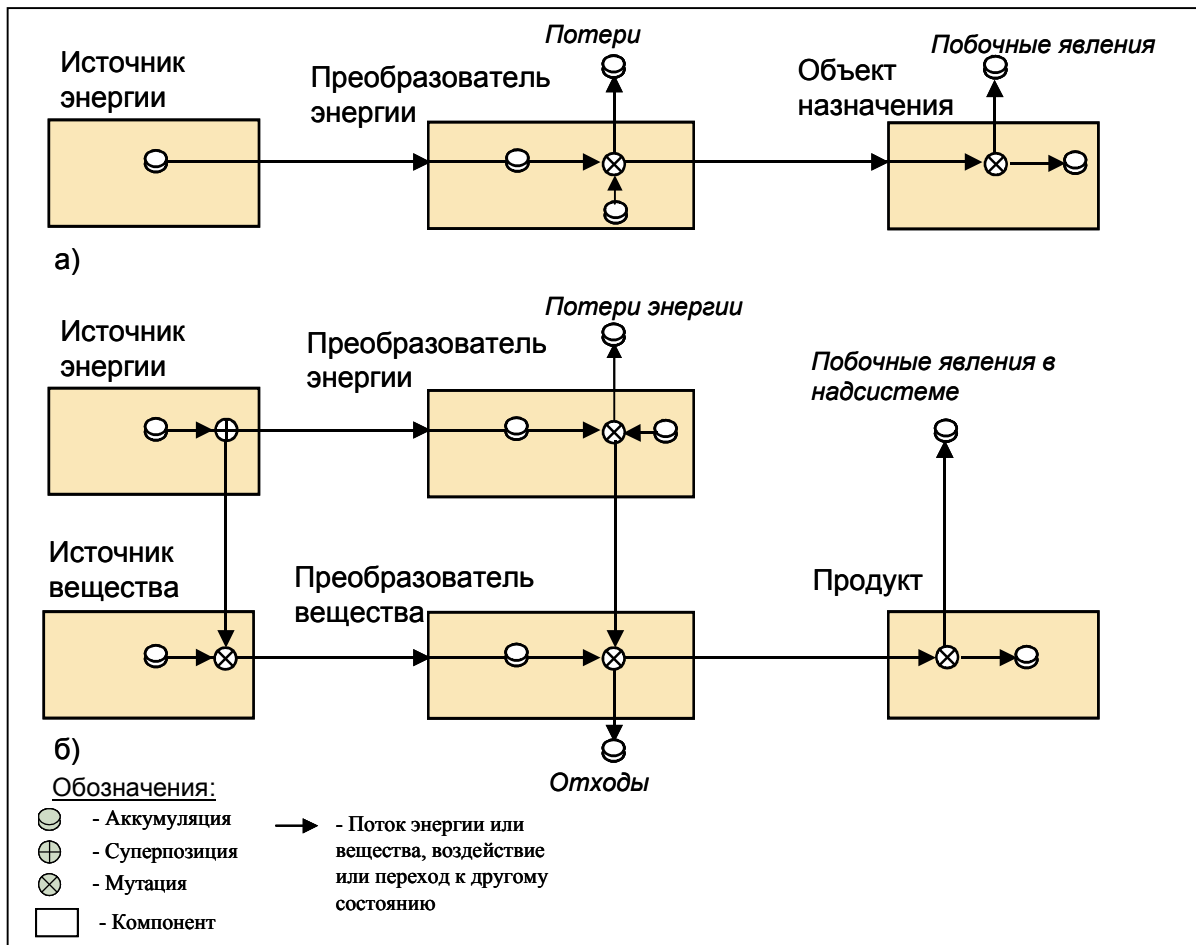


Рисунок 3. Модели процессов, происходящих в ТС, на верхнем иерархическом уровне рассмотрения.

В одном компоненте в разное время эффекты могут иметь разные количественные характеристики или могут проявляться разные эффекты, поэтому модели должны быть разнесены по времени и представлены на разных режимах работы ТС. При интерпретации преобразований в компонентах ТС необходимо учитывать внутренние источники и приемники, обусловленные свойствами компонентов, а также задержки и инерционности потоков.

В результате проведенных операций формируются модели ТС, отображающие вещественно-энергетические преобразования в пространстве и во времени. Эти модели также являются совокупностью потоковых моделей.

Построенная по выше приведенным правилам модель ВЭП является моделью организации функционирования ТС, в которой установлены сквозные зависимости изменений потоков и параметров, их энергетических характери-

стик и проявление физических законов и эффектов, как в компонентах, так и в областях их сопряжения. На графической интерпретации модели ВЭП ТС просто выделить и проанализировать принцип действия ТС [6].

Модель ВЭП ТС обуславливает совокупность потоковых моделей, включающих в себя изменения параметров движения и состояния объектов, преобразования различных форм и видов энергии, изменения сил, преобразования вещества, информации и т.д. Визуализированная потоковая модель проста для понимания и анализа, поэтому ряд скрытых недостатков ТС становится очевидным. Реакции на любое изменение какого-либо воздействия, свойства или параметра в любой из этих моделей может быть отслежено по взаимообусловленным цепочкам, образованным пиктограммами-стрелками воздействий, связывающих компоненты, и пиктограммами со стрелками их преобразований компонентами. Именно поэтому совокупность построенных моделей является еще и моделями причинно-следственной структуры.

Совершенствование ТС и приемы изменения ее принципа действия.

Логически выявить большинство внутренних недостатков и наметить пути совершенствования ТС можно при анализе ее функционирования по моделям ВЭП. Другими словами, для каждого недостаточного уровня потребительского качества ТС можно по модели проследить причинно-следственные цепочки недостатков - неадекватные параметры и свойства [6]:

- компонентов;
- связей компонентов;
- вещественно-энергетических потоков, включая воздействия компонентов друг на друга и на надсистему;
- взаимодействий вещественно-энергетических потоков в ТС;
- вещественно-энергетических преобразований в ТС,

и выявить ключевые недостатки - неадекватные параметры - первопричины, препятствующие совершенствованию.

Совершенствование ТС при сохранении существующего принципа действия или при его незначительном изменении подразумевает повышение эффективности существующих преобразований в ТС и снижение затрат, необходимых для их реализации. В частности, оно может включать ряд приемов, приведенных в Таблице 1, причем большинство этих приемов согласуются с 40 известными приемами разрешения противоречий [1].

Таблица 1. Приемы совершенствования, сохраняющие принцип действия ТС

	Прием	Сходный Изобретательский прием
1	Добавление новых назначений и соответствующих вещественно-энергетических преобразований	-
2	Объединение потоков вещества, энергии и их преобразований в одних объектах	5. объединения 6. универсальности 7. "матрешки" 40. применение композиционных материалов
3	Разделение потоков вещества, энергии и их преобразований	1. дробления 2. вынесения
4	Минимизация затрат вещества и энергии на выполнение, замена материалов на более дешевые,	16. частичного или избыточного действия 27. замена дорогой долговечности на дешевую недолговечность 34. отброса или регенерации частей
5	Использование веществ более эффективно выполняющие вещественно-энергетические преобразования, снижение потерь вещества и энергии при функционировании ТС,	3. местного качества 33. однородности 40. применение композиционных материалов
6	Устранение вредных (не основных) влияний потоков и преобразований друг на друга	29. использование пневмо- и гидроконструкций 30. использование гибких оболочек 31. использование пористых материалов
7	Оптимизация формы объектов для согласование их сопряжений и действий, оптимизация траекторий движения	4. асимметрии 7. "матрешки" 12. эквипотенциальности 14. сфероидальности
8	Изменение одного или нескольких вспомогательных (второстепенных) вещественно-энергетических преобразований	3. местного качества

Существенное изменение принципов действия ТС может осуществляться за счет приемов, приведенных в Таблице 2.

Таблица 2. Приемы совершенствования, меняющие Принцип Действия ТС

	Прием изменения Принципа Действия	Сходный Изобретательский Прием
1	Использование источников энергии, имеющие другую природу	-
2	Изменение конечного воздействия, более эффективно реализующего назначение ТС	28. замена механической схемы
3	Исключение одного или нескольких основных вещественно-энергетических преобразований	- свертывание 8. противовеса 26. копирования
4	Замена одного или нескольких основных вещественно-энергетических преобразований на преобразования, реализующие другие физические законы и эффекты	- объединение альтернативных систем 28. замена механической схемы;
5	Добавление одного или нескольких основных (промежуточных) вещественно-энергетических преобразований	24. посредника 10. предварительного действия 3. местного качества
6	Изменение пространственно-временной координации преобразований, например: - изменение последовательности и длительности - объединение в пространстве при разделении во времени - разделение в пространстве при объединении во времени	15. динамичности 17. перехода в другое измерение 18. использование механических колебаний и резонанса 19. периодического действия 20. непрерывности полезного действия
7	Временное изменение свойств объектов удобное для выполнения преобразований, а затем возврат к первоначальному	15. динамичности
8	Введение воздействия компенсирующего искажения потоков и преобразований (в том числе, по обратному закону)	9. предварительного антидействия 11. "заранее подложенной подушки"
9	Введение цепи преобразований, адаптирующей ТС к неблагоприятным изменениям: управляющего контура, обратной связи или компенсатора внешних воздействий	23. обратной связи 25. самообслуживания
10	Изменение направления преобразования или воздействия	13. "наоборот"
11	Изменение способа воздействия (передачи)	17. перехода в другое измерение
12	Изменение характера воздействия или преобразования (его цикличность, периодичность, синхронность, импульсность)	19. периодического действия
13	Использование побочных результатов основных вещественно-энергетических преобразований для реализации назначений	22. "обратить вред в пользу"
14	Изменение уровня энергетических воздействий и преобразований, приводящих к изменению состояний вещества в т.ч. агрегатных, или изменение свойств вещества, приводящим к желаемым преобразованиям	32. изменения окраски 35. изменение физико-химических параметров объекта 36. использование фазовых переходов 37. исп. термического расширения 38. использование сильных окислителей 39. применение инертной среды

Актуальность смены принципа действия

Выявление противоречий, формирующих прогноз развития ТС - важнейший этап ее анализа. Наиболее эффективный путь совершенствования ТС - это разрешение противоречий, выявленных при анализе моделей ТС и принятых в качестве ключевых задач. Правильно локализовать и сформулировать задачу (образ решения) - это почти решение.

Противоречия в ТС могут быть выявлены на основе анализа и сопоставления между собой ключевых недостатков (задач), целевых недостатков (задач) и потребительских качеств ТС.

Для выявления технического противоречия достаточно условно сделать параметр ключевой задачи адекватным и оценить, какой из потребительских качеств ТС при этом ухудшится. Для того чтобы выявить физическое противоречие, необходимо определить, какой из компонентов, связей, или вещественно-энергетических преобразований в первую очередь (по направлению вещественно-энергетических преобразований на модели ВЭП) повлиял на ухудшение потребительских качеств ТС. Физическое противоречие это несогласование между параметрами входных потоков, желаемыми результатами их преобразования в компоненте, затратами на эти преобразования и свойствами компонентов [6]. Определив физическое противоречие необходимо оценить актуальность изменения принципа действия. Например, если вещественно-энергетические преобразования, лежащие в основе противоречия, имеют малый ресурс совершенствования, то целесообразно изменение принципа действия, например, с помощью приведенных выше приемов.

Примеры использования приемов совершенствования ПД

Рассмотрим простой пример: На производстве сушку древесины обычно осуществляют топочными газами, например, в роликовой сушилке или в сушильной камере. При сушке древесины происходит ее усадка в радиальном и тангенциальном направлении (потеря объема) около 12%, причем древесина часто коробится. На рисунке 4 приведена упрощенная модель процесса сушки древесины на верхнем уровне рассмотрения.

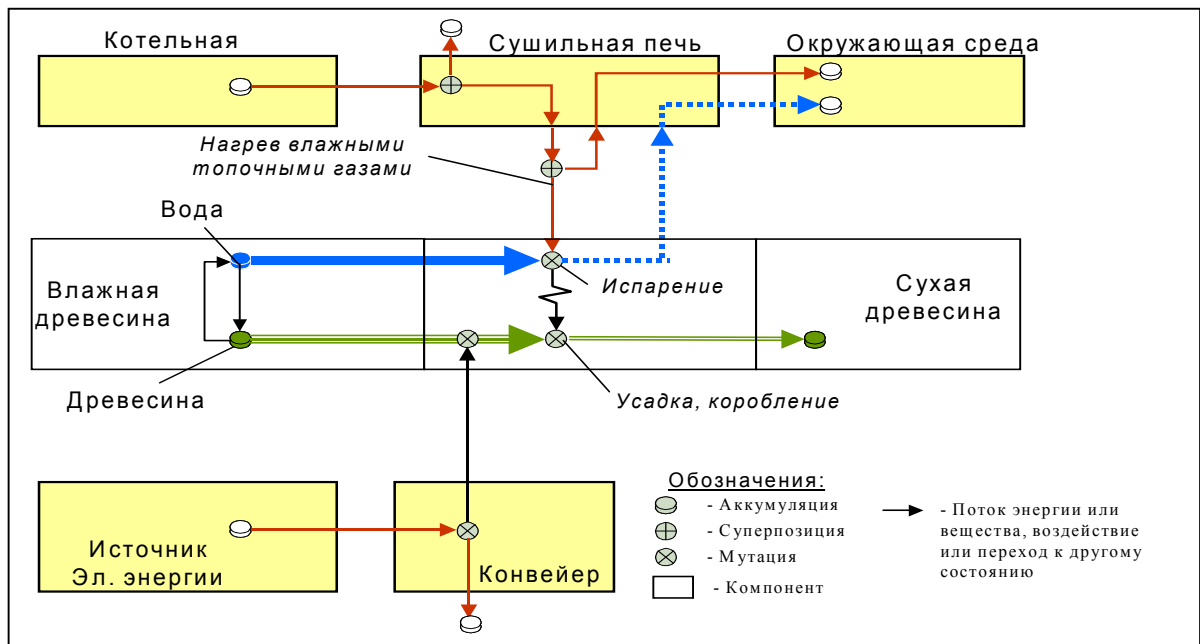


Рисунок 4. Упрощенная модель процесса сушки древесины

Анализируя процессы, проходящие в древесине при сушке, можно раскрыть их сущность и построить модель ВЭП. Пока влажность наружных выше или равна влажности предела насыщения клеточных стенок усушки нет и напряжения в материале отсутствуют. После снижения влажности ниже 30% поверхностные слои стремятся к усушке. Однако этому будут препятствовать внутренние слои, влажность которых еще пока выше 30%. Внутренние слои сохранили первоначальный размер по ширине сортимента, а поверхностные слои усохли на некоторую величину. Поскольку размер поверхностных слоев стал меньше фактического, то эти слои испытывают растягивающие напряжения, а внутренние слои испытывают напряжения сжатия. В начальный период процесса влажная нагретая древесина обладает повышенной податливостью к нагрузкам. В результате под действием напряжений в ней развиваются остаточные деформации, в частности, деформации укорочения во внутренних слоях под действием сжимающих напряжений. По мере снижения влажности древесина становится менее податливой и в большей мере проявляет свойства упругого тела. Поэтому возникшие в начале процесса остаточные деформации сохраняются в материале до конца сушки. В результате этого в конце процесса усадка на поверхности окажется меньше, чем усадка внутренних слоев. В древесине появятся сжимающие напряжения на поверх-

ности и растягивающие напряжения во внутренних слоях материала. В поверхностном слое развиваются остаточные деформации укорочения по ширине и расширению по толщине, вследствие остаточных деформаций и напряжений, возникающих в древесине к концу сушки. В соответствии с этим сложным описанием модель ВЭП в древесине при сушке будет иметь простой вид, приведенный на Рисунке 5.

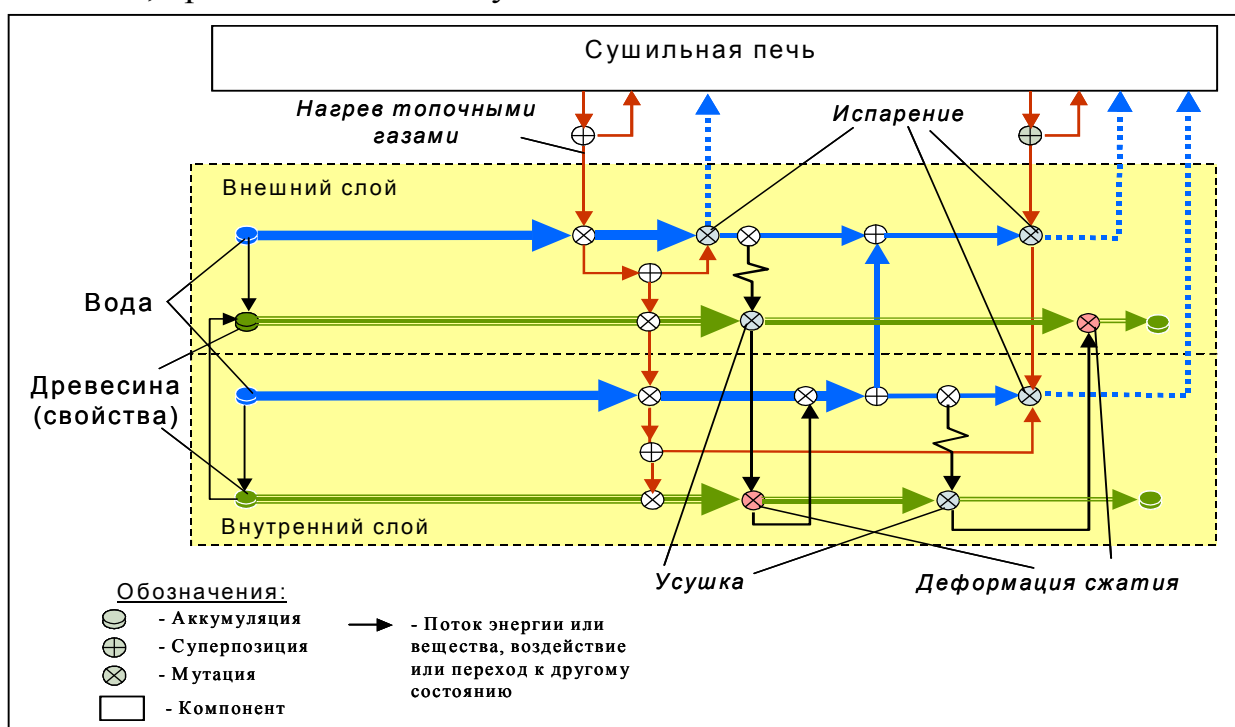


Рисунок 5. Модель процессов, происходящих в древесине при ее сушке

Модель наглядна и проста для понимания. Выделить на такой модели принцип действия не составляет труда. "Вредные" процессы в древесине и их причинно-следственные связи в модели ВЭП - очевидны, поэтому поставив задачи "устранения причин деформаций в древесине" можно переходить к совершенствованию принципа действия.

Ниже продемонстрированы примеры использования ряда приемов совершенствовании принципа действия процесса сушки древесины.

Прием "Замена источников энергии на источники, имеющие другую природу, или комбинация источников" может быть реализован, например, использованием микроволнового нагрева. При этом нагрев воды, содержащейся в древесине, осуществляется равномерно по всему объему, поэтому деформации сжатия древесины не происходит и результирующая усадка мо-

жет стать очень малой. Недостатком этого способа является низкая производительность при испарении воды и, как следствие, требование больших мощностей. Модель ВЭП процесса микроволновой сушки древесины приведена на Рисунке 6.

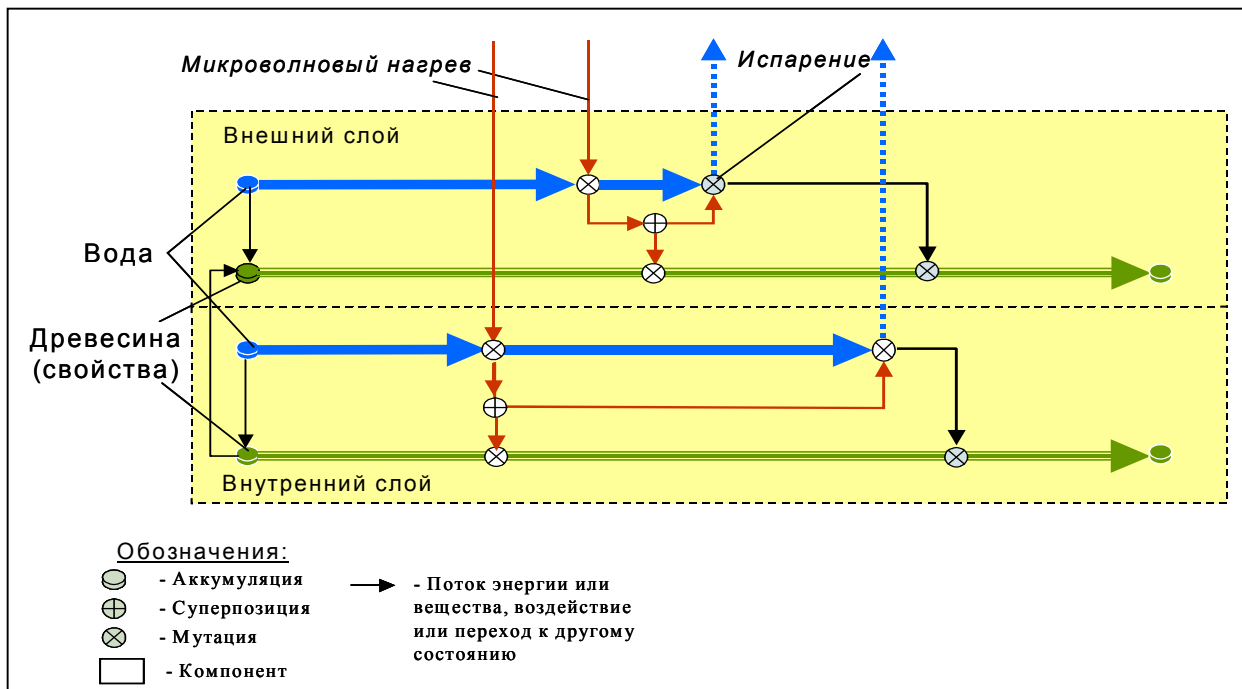


Рисунок 6. Модель процесса микроволновой сушки древесины.

Экономически более выгодной будет комбинация нагрева содержащейся в древесине воды микроволновым излучением до температуры кипения и последующего нагревом и испарением воды топочными газами.

Дальнейшее совершенствование процесса сушки является "Введение цепи преобразований, адаптирующей ТС к изменениям: управляющего контура, обратной связи или компенсатора внешних воздействий". В частности, введение датчика температуры и соответствующего контура управления позволит создать следящую систему управления нагревом.

Прием "Добавление одного или нескольких основных (промежуточных) ВЭП" может быть реализован, например, предварительной пропиткой поверхностного слоя древесины веществами, препятствующими усушке, в частности, карбамидом мочевины. При этом деформация внутренних слоев древесины существенно снижается. Другим примером реализации этого приема может быть обработка поверхности древесины плазмой коронного

разряда, что приводит к увеличению проницаемости поверхности древесины, снижению градиента влажности и, как следствие, к снижению усадки.

Прием "Изменение направления преобразования или воздействия" может быть реализован при вакуумной сушке древесины. При этом будет устранено "вредное" влияние повышенных температур на процесс усадки в процессе удаления влаги.

Прием "Изменение характера воздействия или преобразования (его цикличность, периодичность, и т.д.)" может быть реализован, например, комбинацией периодических сушки и увлажнения древесины (периодическое увлажнение поверхности снимает механические напряжения в древесине).

Примером реализации приема "Временное изменение свойств объектов удобное для выполнения преобразований, а затем возврат к первоначальному" является сушка древесины в напряженном состоянии, препятствующая усадке.

Примером реализации приема "Изменение уровня энергетических воздействий и преобразований, приводящих к изменению состояний вещества в т.ч. агрегатных, или изменение свойств вещества, приводящим к желаемым преобразованиям" может быть сушка древесины перегретым насыщенным водяным паром. Насыщенный пар исключит усушку до вскипания воды внутри древесины, что в конечном счете снизит усадку.

Приведенные примеры демонстрируют многообразие возможных вариантов решений одной задачи при совершенствовании принципа действия ТС.

Заключение

Представляемая разработка может быть полезна как при решении конкретных технических задач, так и для прогноза развития ТС. По мнению автора, она является еще одним шагом в направлении становления ТРИЗ как науки. Дальнейшим шагом в развитие методологии должны стать конкретные рекомендации по использованию приемов совершенствования принципа действия в зависимости от условий изобретательской задачи.

Список литературы

1. Альтшуллер Г.С. АРИЗ – значит победа. АРИЗ-85В. – В кн.: Правила игры без правил. – Петрозаводск.: Карелия, 1989.
2. S.Litvin. New TRIZ-Based Tool - Function-Oriented Search. ETRIA Conference TRIZ Future 2004. November 2-5, 2004, Florence, Italy.
3. Хотимлянский Ю. Энергетический анализ технических систем. Баку, 1974. –18 с. (рукопись), <http://rus.triz-guide.com/archiv.html> .
4. В.Н.Глазунов Поиск принципов действия в технических системах, т.4-М "Речной транспорт", 1990, 111с
5. Горин Ю.В. Применение физических эффектов и явлений при решении изобретательских задач. - ОЛМИ, 1974
6. Кашкаров А.Г., Вещественно-энергетические преобразования в ТС. Методика построения и анализа моделей./ Диссертация на соискание звания «Мастер ТРИЗ», июль 2009г., <http://www.triz-summit.ru/ru/section.php?docId=4257> .
7. А.Г. Кашкаров., Релевантные модели ТС. Алгоритм построения и анализ./Статья. Материалы конференции ТРИЗ-Фест 2009, Санкт-Петербург, июль 2009г., <http://www.triz-summit.ru/ru/section.php?docId=4338>